

# 变质岩岩石学 实习指导书

中国地质大学出版社

陈能松 编

NC81.20



058626

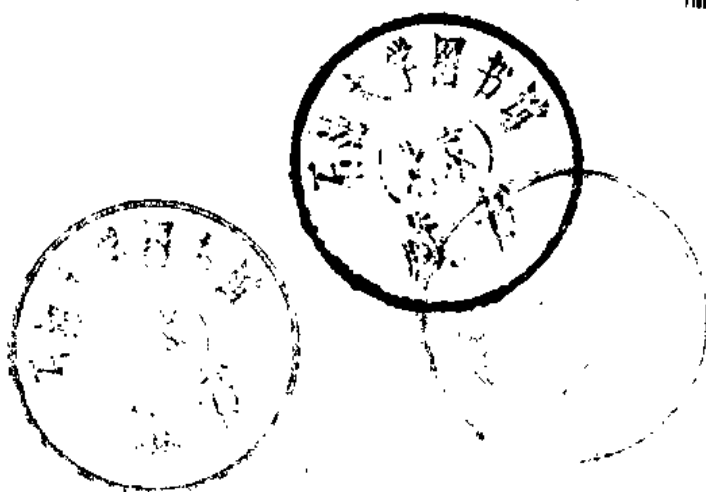
# 变质岩岩石学实习指导书

陈能松 编

P588.3-45  
5015/3/001



200203387



中国地质大学出版社

变质岩岩石学实习指导书

陈能松 编

责任编辑 刘士东

责任校对 熊华珍

中国地质大学出版社出版发行

(武昌喻家山 430074)

中国地质大学出版社印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 2.5 字数 59 千字

1990 年 11 月第 1 版 1990 年 11 月第 1 次印刷

印数 1—3000 册

ISBN 7-5625-0486-5/P·162 定价: 0.85 元

## 前 言

原岩石教研室陈珍珍副教授编写的,后经游振东教授修编的《变质岩实习指导书》,已使用多年。为适应教学改革和教材建设的需要,教研室委托本人对其做进一步的修改,以正式出版。修编提纲经变质岩教研组和部分从事变质岩教学的老师审阅,提出了许多建设性意见。书稿完成以后,游振东教授、韩郁善副教授、王方正副教授、钟增球老师和桑隆康老师,对其进行了详细审阅,又进一步提出了许多宝贵的修改意见。因此说,本书是我教研组长期教学实践的共同成果与结晶。

这次修编,以我组全体教师提出的“指导书应给学生提供基本的学习方法而不是具体的实验流程”为指导思想,删去了与《变质岩岩石学教程》<sup>\*</sup>(游振东、王方正,1988)重复的部分内容;参照国外最新的教研成果,对一些图表予以更新和补充。

本书把实习内容划分为7个实习单元。考虑到课时数会因时而变,故没有具体规定每一单元的实习时数及具体的实习材料。教师可根据该专业的课时多少、专业特点、教学大纲要求等灵活安排。又考虑到各位老师有自己独到的教学风格,各单元的内容尽量保持相对独立性,而共同的或大同小异的内容则放入附录中,以供实际使用时选择。课前的作业题是为满足该单元的基本实习要求而设计的,教师可根据需要选择布置,也可自行增减。

鉴于修编者水平有限,初次修编教材,难免有不妥或疏漏之处,希望使用本书的老师 and 同学们批评指正,使之不断完善。

本书适用于地质类各专业,当然,也可以供岩矿专业参考。

最后,修编者对出版社耿小云、刘士东为本书出版而进行组织、编辑所付出的辛勤劳动,表示衷心的感谢!

修编者 陈能松

1990年夏

---

\* 以下简称《教程》。

## 目 录

变质岩实习课的总要求和学习方法·····	( 1 )
实习单元一 变质岩特征变质矿物的观察·····	( 2 )
实习单元二 变质岩结构构造的观察与描述·····	( 4 )
实习单元三 区域变质岩·····	( 9 )
实习单元四 接触热变质岩·····	(12)
实习单元五 混合岩·····	(14)
实习单元六 动力变质岩·····	(17)
实习单元七 气液变质及接触交代变质岩·····	(21)
附录Ⅰ 常见造岩矿物主要光性一览表·····	(22)
附录Ⅱ 常见变质矿物最主要的鉴定特征·····	(24)
附录Ⅲ 变质岩的观察与描述·····	(27)
附录Ⅳ 区域变质岩和接触热变质岩成因的岩相学方法初步分析·····	(30)
参考文献·····	(33)

## 变质岩实习课的总要求和学习方法

变质岩作为一种结晶岩，在观察、描述的方法上与岩浆岩有许多类似之处。比如，同样要描述岩石的颜色、结构构造、矿物成分及其百分含量等等。但要注意的是：变质岩与岩浆岩的形成条件差别很大，看起来类似的矿物特征与结构特征，其所代表的成因意义却是截然不同的。

### （一）变质岩实习课的基本要求

（1）掌握常见变质矿物肉眼和镜下的鉴定特征，学会判别变质岩的结构类型和构造类型，正确地区分不同成因类型的变质岩。

（2）学会对不同成因类型的变质岩进行观察和描述，掌握各代表性岩石类型特征及其描述重点。

（3）掌握不同成因岩石类型进一步分类的方法和命名原则，并给予正确的定名。

（4）了解恢复变质岩原岩的岩相学方法。

（5）初步了解和掌握变质岩矿物共生分析和变质相的工作方法，学会分析变质程度、变质作用的世代及其过程。

### （二）变质岩实习课的学习方法

变质岩实习内容多，课时少，由于学时数所限，本指导书不可能对自然界中种类繁多的变质岩种属一一给予详细描述。因此，同学们在学习中要做到以下几点。

（1）课前按教师布置的课前作业题一一预习，并给予完成，以提高上课效率。

（2）上课必须带《简明光性矿物学》、《教程》、听课笔记及本指导书；

（3）课上，要仔细听讲，明确每次实验课的要求和内容，即明确做什么，怎么做；看什么，怎么看；抓住重点，仔细观察，认真记录。

（4）充分利用本指导书及其他材料进行思考，要善于发现问题，学会思维方法，逐步提高分析问题和解决问题的能力。

## 实习单元一 变质岩特征变质矿物的观察

### (一) 基本要求

- (1) 基本掌握变质矿物的肉眼和镜下鉴定特征。
- (2) 基本掌握变质矿物的化学成分特点，学会把变质矿物标在 ACF 图解或 A'KF 图解上。
- (3) 基本掌握变质矿物的地质产状、成因类型及其形成条件。

### (二) 课前作业题

(1) 如何在镜下快速区分以下几组矿物：红柱石—蓝晶石—夕线石；红柱石—紫苏辉石；蓝晶石—天蓝石；夕线石—透闪石；十字石—黑云母—黑硬绿泥石；石榴石—十字石；绿泥石—硬绿泥石；堇青石—石英—钾长石。

(2) 红柱石、蓝晶石和夕线石在指示  $p-T$  成因上有何意义？

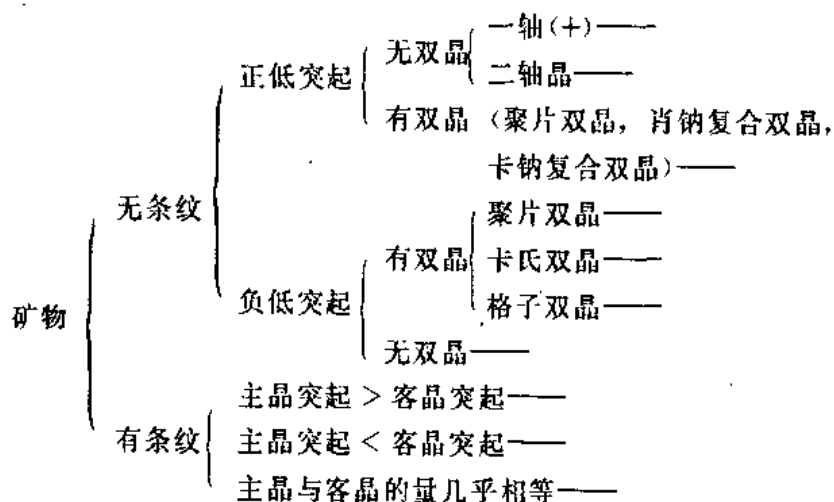
(3) 能否说凡含  $Al_2SiO_5$  多形的岩石必是泥质岩？为什么？

(4) 斜方辉石的最高干涉色为\_\_\_\_\_，纵切面消光类型多数为\_\_\_\_\_；而单斜辉石的最高干涉色可达\_\_\_\_\_，纵切面消光类型多为\_\_\_\_\_。

(5) 角闪石类矿物与单斜辉石的特征光性区别是：角闪石的  $c \wedge Ng =$ \_\_\_\_\_，解理夹角 = \_\_\_\_\_，单斜辉石的  $c \wedge Ng =$ \_\_\_\_\_，解理夹角 = \_\_\_\_\_。

(6) 普通角闪石与黑云母的多色性很显著，黑云母的多色性公式是  $Ng =$ \_\_\_\_\_， $Nm =$ \_\_\_\_\_， $Np =$ \_\_\_\_\_；普通角闪石的  $Ng =$ \_\_\_\_\_， $Nm =$ \_\_\_\_\_， $Np =$ \_\_\_\_\_。

(7) 石英、钙质斜长石和钾长石均为低突起矿物，请据以下鉴定流程，填上适当的矿物名称：



### (三) 实习内容

红柱石 蓝晶石 夕线石 刚玉\* 十字石 石榴石 黑硬绿泥石\* 堇青石 天蓝石\* 硬绿泥石\*

#### (四) 实习要点

(1) 光性观察：观察变质矿物的光性，应从晶系、结晶习性（多方位的切面形态）、颜色、解理、突起、消光类型、延性符号等方面进行，力争在单偏光和正交偏光下解决问题，特殊情况下才使用锥光（附录）。

(2) 不断自我总结对比，掌握变质矿物最典型的光性特点：每种矿物都有其自身的光性特征，在为数不多的最常见的变质矿物中，必然可以通过一二个方面的光性特征把这种矿物与另种矿物区别开，或者把若干种矿物归成一类。只要持之以恒，定会功到自然成。建议按以下方面予以总结和对比：

- ① 以多色性显著为特征的矿物的区别；
- ② 以闪突起显著为特征的矿物的区别；
- ③ 以极高正突起或低突起为特征的矿物的区别；
- ④ 以全消光为特征的矿物的区别；
- ⑤ 以负延性为特征的矿物的区别；

⑥ 名称易混但化学成分不同的矿物（如硬绿泥石—黑硬绿泥石—绿泥石；蓝晶石—天蓝石）的光性区别；

⑦ 化学成分相同但光性不同的矿物，如红柱石、蓝晶石和夕线石，由于这3种矿物的解理组数或完善程度差异，在纵、横两切面上有明显区别（图1）。

(3) 把握原岩成分与矿物成分及矿物组合的关系：原岩成分类型是制约矿物种类及其组合的主要因素。记住各个化学类型变质岩的常见矿物种类，可以帮助判断未知矿物的可能种属，大大缩短鉴定时间。

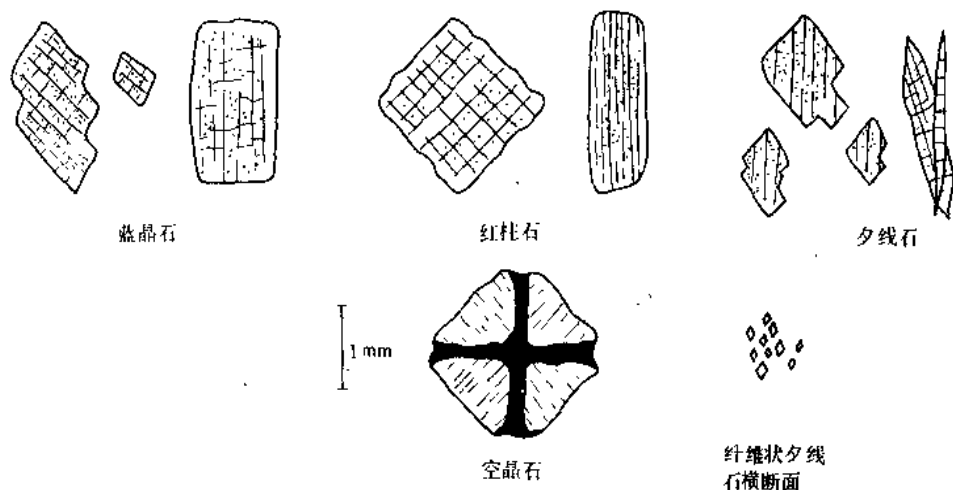


图1  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$  多形的切面形态  
(据 R. Mason, 1984, 补充)

\* 为岩矿专业内容，对一般地质专业不做要求。

## 实习单元二 变质岩结构构造的观察与描述

### (一) 基本要求

(1) 分清变质岩结构的成因类型和变质岩构造的成因类型。

(2) 重点认识各类变晶结构和各类变成构造的基本特征，对于前者，应掌握其与类似岩浆岩结构的区别。

(3) 学会描述变质岩结构、构造的方法，学会多种结构同时共存时的处理原则。

### (二) 课前作业题

(1) 变质岩岩石结构是指矿物或组成颗粒的\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_及\_\_\_\_\_的相互关系等特征；构造则指岩石中矿物集合体或组分颗粒集合体的\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_等特征。

(2) 变质岩岩石结构和构造的研究意义有①\_\_\_\_\_；②\_\_\_\_\_；③\_\_\_\_\_；④\_\_\_\_\_；⑤\_\_\_\_\_。

(3) 变晶结构特点是什么？

(4) 变余结构的特点是什么？

(5) 变形结构的特点是什么？

(6) 变余构造的特点是什么？

(7) 变成构造的特点是什么？

(8) 如何区分斑状变晶结构、斑状结构及似斑状结构？

(9) 花岗变晶结构与花岗结构有何区别？

(10) 如何区别斑状变晶结构、变余斑状结构及交代斑状结构？

### (三) 实习内容

(1) 看幻灯或录像。

(2) 观察岩石手标本结构、构造和典型结构薄片。

(3) 描述若干典型的变晶结构和变成构造。

### (四) 实习要点

#### 1. 变晶结构的观察

(1) 变晶结构是变质作用进行较彻底的变质岩所具有的结构，它以矿物颗粒生长为特征。变晶结构的观察和描述常从不同角度（如变晶粒度、变晶相对大小、变晶自形程度、变晶形态、变晶间的相互关系等）进行。为了与岩浆岩类似结构区别，应在变质岩石的“结构”二字之前加“变晶”二字。常见的一些变晶结构图解如图2所示。

(2) 变晶结构描述常按以下原则进行：

① 矿物粒度均匀（等粒，即所有颗粒基本在同一粒级内）的岩石：

### 矿物粒度 + 变晶形态 + 变晶结构

如某白云母二长变粒岩的结构为细粒鳞片粒状变晶结构；

#### ② 有变斑晶的岩石：

#### 基质结构 + 斑状变晶结构

基质部分结构的描述与等粒岩石相同。如石榴石云母片岩的岩石结构为基质具有细粒鳞片粒状变晶结构的斑状变晶结构。

矿物的自形程度和矿物间的相互关系属于局部性结构，一般只限于某种矿物，仅在描述该矿物时才描写它，故要避免把薄片见到的一切变晶结构描述堆砌到一起。

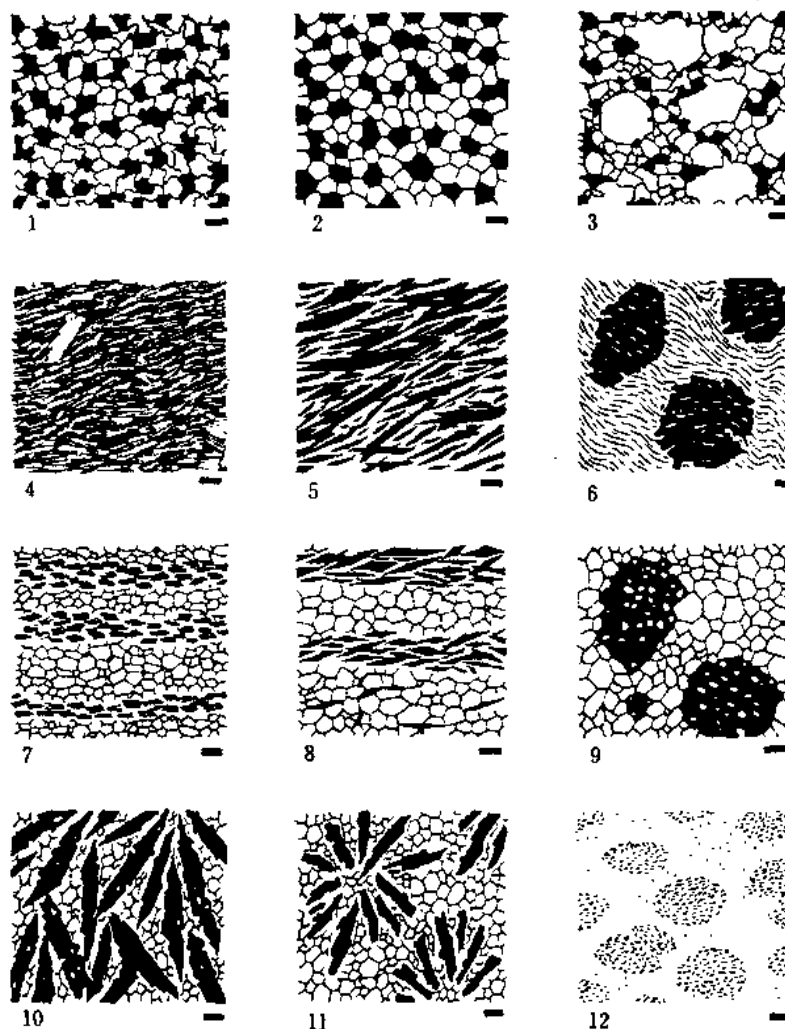


图2 一些基本的变晶结构及可能的构造图解

(选自 J. P. Bard, 1981)

1. 它形等粒粒状变晶结构；2. 多边形镶嵌粒状变晶结构；3. 不等粒粒状变晶结构；4. 鳞片变晶结构；5. 针柱状变晶结构；6. 基质为鳞片变晶结构的斑状变晶结构；7. 鳞片花岗变晶结构；8. 针柱状花岗变晶结构；9. 基质具花岗变晶结构的斑状变晶结构；10. 基质具粒状变晶结构的斑状变晶结构，变斑晶为束状变晶结构；11. 基质具花岗变晶结构的斑状变晶结构，变斑晶为花瓣状变晶结构；12. 变余泥质结构；比例棒为1mm

### (3) 变晶结构观察中应注意:

① 斑状变晶结构的观察: 斑状变晶结构是指由两群粒度相差悬殊, 且较粗颗粒矿物含量相对略少的岩石的结构。在矿物形态相同或相似时, 一般不难确定哪些是变斑晶, 哪些是基质; 如果矿物形态悬殊不同, 宜从实际效果出发综合考虑。例如在透闪石大理岩中, 方解石颗粒均匀, 透闪石往往呈纤状或针状变晶, 虽然其延伸很长, 但其横截面还不如方解石的大, 就不宜称斑状变晶结构。

② 矿物结晶顺序的确定: 变晶结构中的矿物是变质过程中结晶或重结晶的, 是固态下同时生长的。因此, 矿物间的相对大小、自形好坏、包裹关系等有它自身的意义。如结晶能力大小决定矿物的自形程度; 矿物晶核数目的多少和物质供应是否充足, 决定了矿物的相对粒度, 故它们的自形程度和矿物粒度大小不能反映矿物的结晶顺序。

③ 注意多种成因结构类型的叠加: 由于变质作用不彻底或多种变质方式的叠加, 变晶结构和其他类型结构互相重迭。岩石总体为变晶结构并不排除局部为变余结构、变形结构或反应交代结构。在变晶结构中应注意发现变余结构的痕迹。例如十字石、石榴石、云母或斜长石等变斑晶中的残缕结构, 显示了变余层理及早期岩石的受力状况。

④ 注意矿物间的反应或再平衡结构 (reequilibrium textures) 及世代关系: 变质物化环境的改变会使早先稳定的矿物 (组合) 发生反应, 形成与新的物化环境相适应的矿物 (组合), 前者叫早世代矿物 (组合), 后者为晚世代矿物 (组合)。从包裹关系看, 这种不同世代矿物 (组合) 的配置关系称非平衡结构 (disequilibrium textures) 或反应结构 (reaction textures); 若从局部去考察晚世代矿物 (组合) 的相互关系, 由于它们与晚阶段的物化条件相平衡, 故又称再平衡结构, 常见的再平衡结构有:

A. 反应边 (冠状体) 结构: 一种后成矿物呈带状包绕先成矿物边缘 (图 3)。

B. 出溶结构: 后成矿物 (组合) 呈条纹状、叶片状或棒状出溶于先成矿物内部 (图 2)。

C. 后成合晶结构: 后成的两种矿物或两种以上矿物以特殊的交生形式 (其中一矿物成蠕虫状、梳状或文象等) 取代先成矿物 (图 3)。

D. 交生体叠加结构: 矿物可以多于两个, 且没有特殊的交生形式 (图 3-4)。

变质变形关系只能确定变质矿物生长与构造变形的时序关系; 再平衡结构则可以揭示变质反应过程, 而变质反应的性质对于阐明变质作用过程的构造演化特点是非常重要的。

### 2. 变成构造的观察

变成构造是较为完全的重结晶或变质重结晶作用而形成的变质岩所具有的构造。同种化学成分原岩的岩石, 其构造特征的变化反映了变质程度的差异。观察变成构造应特别注意矿物和矿物集合体之间的排列方式:

(1) 块状构造: 矿物或矿物集合体在岩石中不定向均匀分布, 而与矿物形态 (粒状、针状、柱状或片状) 无关。

(2) 芝麻点构造: 指大体等量的黑色短柱状矿物与浅色斜长石的相间排列, 可以是定向的, 也可以是不定向的, 它是斜长角闪岩常见的岩石构造。

(3) 面状构造: 包括板状、千枚状、片状、褶皱状及片麻理构造。它们的共同特征是具有清楚的面理, 尤其是后三者。片状、柱状或针状等一向或二向延长的矿物平行某个而

分布，不管这个面是平面还是曲面，都不是在一个方向上定向，因为后者属于线理。

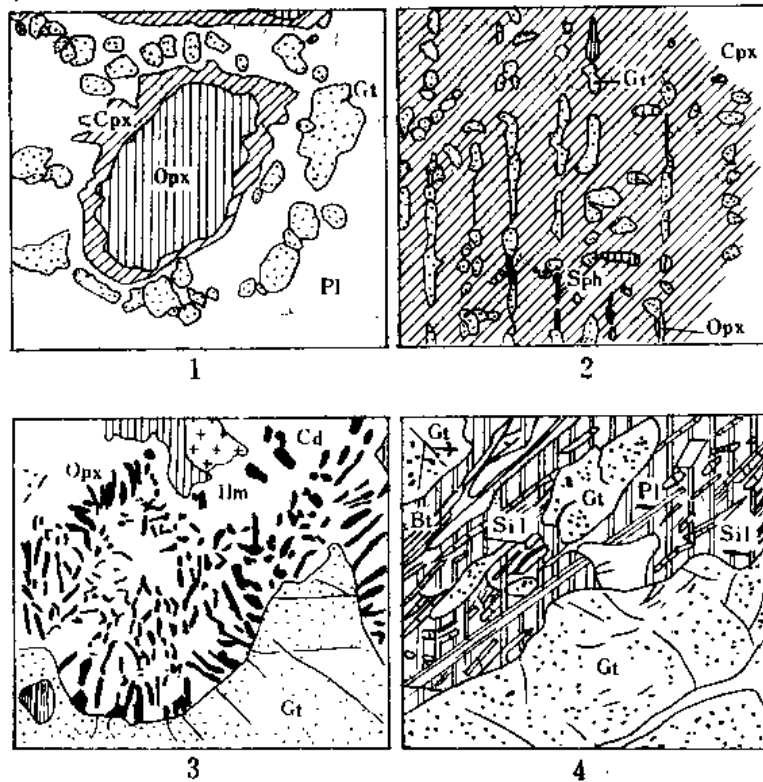


图3 一些典型的再平衡结构

1. 反应边(冠状体)结构: 后成的单斜辉石(Cpx)和石榴石(Gt)分别呈带状包绕先成的斜方辉石(Opx)和斜长石(Pl); 2. 出溶结构: 后成的石榴石(Gt)、斜方辉石(Opx)和榍石(Sph)呈脉状出溶于先成的单斜辉石(Cpx)内; 3. 后成合晶结构: 后成的蠕虫状斜方辉石(Opx)与堇青石(Cd)成紧密共生体局部取代先成石榴石变斑晶(Gt); 4. 交生体叠加结构: 后成的夕线石(Sil)+黑云母(Bt)+斜长石(Pl)成紧密共生体局部叠加在先成石榴石变斑晶(Gt)上

(图1-3选自 S. L. Harley, 1989; 图4 据陈能松, 1991)

(4) 斑点状构造: 为低级接触热变质岩所具有。斑点为快速成核又未完全重结晶的矿物或矿物集合体。

### 3. 变余结构、构造的观察

变余结构、构造是原岩变质不完全而残留的那部分矿物结构和构造。因此，变余结构、构造是恢复原岩、分析变质过程最有说服力的证据。

一般地说，接触热变质比区域变质更易于保留变余结构和构造；轻微变质的岩石比中高级变质的岩石更易于保存变余结构和构造；但原岩中某些粗大的结构在中高级变质岩中也可以保留。

变余结构和构造的命名原则是：在被保存的原岩结构、构造名称前加“变余”二字。

(1) 变质岩浆岩中常见的变余结构、构造有：变余斑状结构、变余辉绿结构、变余辉长结构、变余花岗结构、变余火山碎屑结构；变余杏仁构造及变余枕状构造、变余气孔构

造等。

观察变余结构、构造，要宏观和微观相结合，对标本和薄片，要反复观察对照。

对含有大个长石晶体的岩石，要着重观察长石晶体的自形程度。在变质岩中，除了混合岩的某些交代斑晶较为自形以外，大部分长石都是它形的。所以，如果在变质岩中（不包括混合岩脉体）中发现自形长石斑晶或者自形长石的某种假象集合体，那么这种变质岩的原岩可能为岩浆岩。此外，若斜长石内次生变化矿物呈规则的环带状分布，则其原岩一定为岩浆岩。

对绢云母片岩和其他中酸性浅变质岩石中较粗大的石英，要注意其形态，看是否保存双锥体的切面轮廓和有无变余熔蚀的特征等。如果存在这些特征，说明原岩为石英斑岩或其他酸性火山岩。

对于具变余气孔、变余杏仁构造的岩石，要注意杏仁体是否呈同心圈层状和有否气孔壁的残余，加以佐证，以防将假气孔、假杏仁当成真的。

(2) 变质沉积岩中常见的变余结构、构造有：变余碎屑结构、变余泥质结构；变余层理、变余结核、波纹、递变层理、斜层理构造等。

根据变余岩屑、变余韵律纹层、变余细小重矿物集中成层分布，结合成分特征，常可有效地确定沉积变质岩及其原岩类型。

注意：变质分异、构造分异和构造置换作用造成的假层理，由碎裂作用造成的假碎屑结构，由变质聚结造成的假砾石等。这些在变质岩中颇为常见，野外露头上易于区别，但单凭一块手标本或仅限于薄片观察区别真伪是比较困难的。

## 实习单元三 区域变质岩

### (一) 基本要求

(1) 掌握以下几种常见区域变质矿物的光性鉴定特征：石榴石、十字石、蓝晶石、夕线石、刚玉、黑硬绿泥石、绿泥石、绿帘石、方柱石、阳起石、蓝闪石、绿辉石（见附录 II）。

(2) 掌握区域变质岩分类命名原则及描述方法（见附录 III）。

(3) 认识几种典型的区域变质岩石，并初步学会其成因分析方法。

(4) 初步了解矿物世代的判别方法\*。

### (二) 课前作业题

(1) 矿物共生的岩相学标志主要有① \_\_\_\_\_，② \_\_\_\_\_，③ \_\_\_\_\_，④ \_\_\_\_\_。

(2) 绿片岩相、绿帘角闪岩相、角闪岩相、麻粒岩相的特征矿物组合分别是\_\_\_\_\_，据泥质变质岩中的矿物组合变化，又可将角闪岩相划出三个变质亚相，它们的亚相名称及特征矿物组合分别是① \_\_\_\_\_，② \_\_\_\_\_，③ \_\_\_\_\_。

(3) 角闪石、斜长石、黑云母的哪些光性变异和成分特点可以指示变质相条件？

(4) 高压相系与中低压相系岩石中的辉石类、闪石类、云母类、石榴石类、 $Al_2SiO_5$ 多形、 $CaAl$ 硅酸盐矿物、钛氧化物、石英等矿物在化学成分或种属上有何差别？

(5) 方柱石与斜长石都是  $Ca-Na$  的铝硅酸盐矿物，镜下都无色透明，都为低正突起，但方柱石的最高干涉色为 \_\_\_\_\_ 级，且为 \_\_\_\_\_ 轴晶，据此可区别于斜长石。

(6) 区域变质岩矿物定量分类图中的 F、M、Q、C 端元分别代表哪些矿物？为什么把帘石类和方柱石等矿物也归入 F 端元？

(7) 在定量分类的 FQM 三角图中，长石  $< 25\%$  的岩类有 \_\_\_\_\_， $25\% - 75\%$  的有 \_\_\_\_\_， $> 75\%$  的有 \_\_\_\_\_；暗色矿物  $< 15\%$  的有 \_\_\_\_\_， $15\% - 60\%$  的有 \_\_\_\_\_， $> 90\%$  的有 \_\_\_\_\_；石英  $< 10\%$  的岩类有 \_\_\_\_\_， $10\% - 60\%$  的有 \_\_\_\_\_。

(8) 在 FCM 三角图中，大理岩和钙硅酸盐粒岩中的碳酸盐矿物含量分别是 \_\_\_\_\_，而钙硅酸盐粒岩与钙质片岩中长石类矿物含量分别是 \_\_\_\_\_。

\* 对岩矿专业，此项应为基本要求。

(9) 泥质灰岩经区域变质可能出现的矿物有\_\_\_\_\_。

(10) 以镁橄榄石 + 透辉石 + 方解石为主的大理岩原岩应为\_\_\_\_\_。

### (三) 实习内容

绿片岩相代表性岩石    绿帘角闪岩相代表性岩石    角闪岩相代表性岩石

麻粒岩相岩石    蓝片岩相岩石    榴辉岩相岩石

### (四) 实习要点

#### 1. 区域变质岩的分类与命名

根据手标本并参照构造特征, 可以进行粗略分类。对其岩石薄片做进一步的镜下观察后, 建议使用定量分类图划分显品质区域变质岩岩类(图4)。区域变质岩分类命名应注意以下几点:

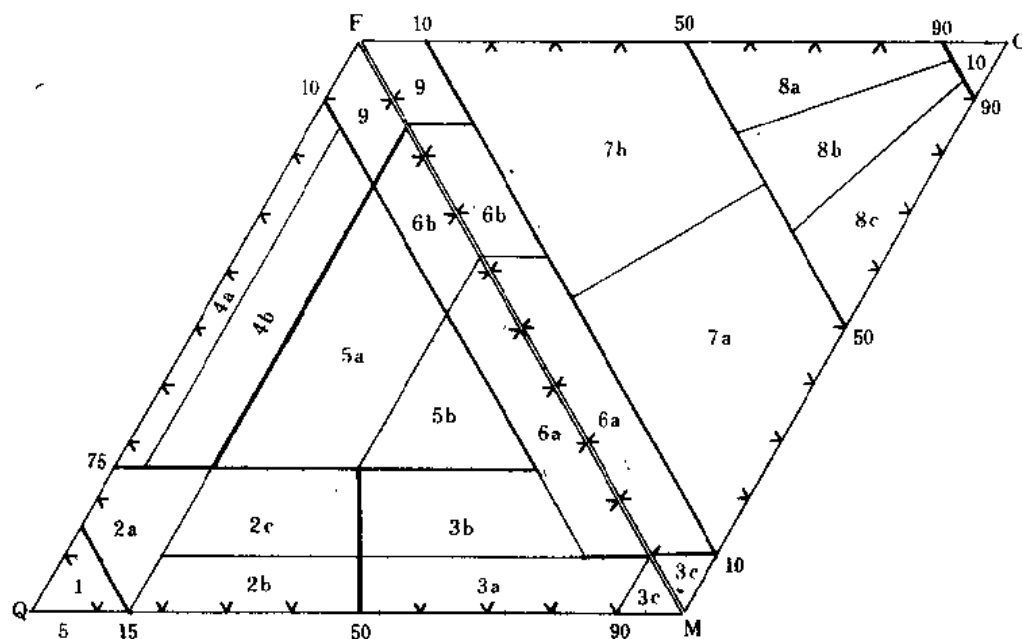


图4 显品质区域变质岩定量矿物分类图

(据王仁民, 1973, 转引自游振东, 1988)

1. 变质石英岩类; 2. 云英片岩类: 2a. 变质长石石英岩, 2b. 云母石英片岩, 2c. 长石云英片岩; 3. 片岩类: 3a. xx 片岩, 3b. 长石 xx 片岩, 3c. 纯 xx 片岩或 xx 岩(块状的); 4. 变粒岩、麻粒岩类: 4a. 浅粒岩(未达麻粒岩相)、白粒岩(达到麻粒岩相), 4b. xx 变粒岩(未达麻粒岩相)、xx 麻粒岩(达麻粒岩相); 5. 片麻岩类: 5a. xx 长石片麻岩, 5b. 暗色 xx 长石片麻岩; 6. 基性变质岩类: 6a. 钠长绿片岩、斜长角闪岩、斜长辉石岩, 6b. 浅色斜长角闪岩; 7. 钙硅酸盐粒岩类: 7a. 钙质 xx 片岩, 7b. 钙硅酸盐粒岩; 8. 大理岩、白云大理岩类: 8a. 长石大理岩, 8b. 长石云母大理岩, 8c. 云母大理岩; 9. 长石质岩; 10. 纯大理岩

① 明显为钙质变质岩的使用 FCM 三角图, 其余使用 FQM 三角图。

② 三角图只给出了基本名称, 故还应进一步命名, 其原则是少前多后:

次要矿物 + 主要矿物 + 基本名称

③ 石英一般都不参加命名。

- ④ 对长石要具体化，如钠长、斜长或钾长，钾长石与斜长石含量相近时，可称二长。
  - ⑤ 特征变质矿物不论含量多少均应参加命名。
2. 成因分析（见附录IV）

## 实习单元四 接触热变质岩

### (一) 基本要求

(1) 掌握以下几种常见接触热变质矿物的光性鉴定特征：红柱石、堇青石、夕线石、硅灰石、透闪石、镁橄榄石。

(2) 认识角闪岩结构及其他接触热变质岩的结构、构造特征。

(3) 认识几种典型的接触热变质岩并掌握其描述方法及正确的命名原则。

(4) 初步学会接触热变质岩的成因分析方法（见附录IV）。

### (二) 课前作业题

(1) 判断与改正：①角闪岩结构即显微粒状变晶结构；②角闪岩就是具角闪岩结构的岩石。

(2) 粘土岩化学成分特点是\_\_\_\_\_，经接触热变质后可能出现的矿物有\_\_\_\_\_。

(3) 为什么红柱石、夕线石易见于接触热变质岩？为什么接触热变质岩中有时也会见到十字石和石榴石等矿物？

(4) 写出下列矿物组合的原岩：①硅灰石 + 方解石；②透闪石 + 透辉石 + 方解石。

(5) 如何快速区分夕线石与透闪石？

(6) 辉石角闪岩相的特征矿物组合是\_\_\_\_\_，普通角闪石角闪岩相的是\_\_\_\_\_。

(7) 在手标本上和镜下，如何区分堇青石与石英？

(8) 接触热变质岩的特征变质矿物在命名中的地位是如何规定的？

### (三) 实习内容

钠长绿帘角闪岩相代表性岩石      普通角闪石角闪岩相代表性岩石

辉石角闪岩相代表性岩石

### (四) 实习要点

#### 1. 分类与命名

1) 隐晶质（基质）：斑点（瘤状）板岩的命名

首先在镜下确定斑点成分，然后按下述原则命名：

斑点主要成分 + 斑点板岩

如炭质斑点板岩。当斑点中出现细小特征性变质矿物时，命名原则是：

特征性变质矿物 + 斑点板岩

如堇青石斑点板岩。

2) 显晶质岩石的进一步分类命名

虽然从岩石化学成分特点，可以划分出泥质变质岩、长英质变质岩、钙质变质岩、基性变质岩和镁质变质岩等五个大的类型，但实际工作中都是从岩石构造特点出发划分的。

(1) 块状构造岩石的分类与命名:

具块状构造的接触变质岩石, 按矿物含量可分为以下几类:

大理岩类: 碳酸盐矿物 >50%;

石英岩类: 石英 >85%;

长石岩类: 长石类矿物 >90%;

角岩类: 除上述三类岩石以外的其他岩石。

① 角岩类命名原则: 若不含特征变质矿物, 则

次要矿物 + 主要矿物 + 角岩

如黑云二长角岩、斜长角闪质角岩; 若含特征变质矿物, 按特征矿物含量处理原则命名:

A. 含量 <5%, 冠以“含 xx”参加命名, 如含红柱石黑云母角岩。

B. 含量为 5%—25%, 参加命名, 如红柱石黑云母角岩, 但不加“含”字。

C. 含量 >25%, 直接以特征矿物命名, 如红柱石角岩。

② 石英岩类、长石岩类、大理岩类命名原则: 暗色矿物按少前多后原则冠于基本名称前; 如有特征矿物, 不论多少应直接参加命名; 另外对于长石、云母等描述都应具体化。

(2) 具定向构造的岩石的命名原则: 可称其为接触片岩或接触片麻岩; 按区域变质的片岩、片麻岩命名原则进行命名。

2. 成因分析

参见附录 IV。成因分析应注意的, 由于接触热变质过程热流上升得快下降得也快, 所以同一岩石薄片往往有多个世代的矿物(组合)共存, 其世代分析将比区域变质岩复杂和困难, 建议注意用共生结构标志仔细鉴别以下几个矿物对间的关系:

红柱石—夕线石      黑云母—夕线石      夕线石—钾长石      夕线石—白云母  
夕线石—石榴石

## 实习单元五 混合岩

混合岩具有变质岩与岩浆岩的双重特征，其岩石构造特征最显著。把握基体与脉体是认识和掌握这类岩石的关键。

### (一) 基本要求

- (1) 认识基体与脉体及混合岩的基本特征。
- (2) 学习肉眼判断混合岩化强度的方法。
- (3) 认识混合岩岩石薄片中的交代结构。
- (4) 掌握混合岩的分类命名原则和描述方法。

### (二) 课前作业题

- (1) 混合岩脉体是指\_\_\_\_\_的新生组分，基体是指\_\_\_\_\_变质岩或矿物部分。
- (2) 什么是混合构造？常见的混合构造有哪些？
- (3) 如何在手标本上识别脉体和基体？
- (4) 根据脉体含量(%)将混合岩划成三类，各岩类的命名原则不同。请根据分类命名原则填空并回答问题：  
混合岩类的脉体含量\_\_\_\_\_，命名原则是\_\_\_\_\_；  
混合片麻岩类脉体含量\_\_\_\_\_，命名原则是\_\_\_\_\_；  
混合花岗岩类脉体含量\_\_\_\_\_，命名原则是\_\_\_\_\_。各岩类命名原则不同反映了什么问题？
- (5) 如何区别交代斑晶、变斑晶和斑晶？
- (6) 判断混合岩化程度的标志有哪些？为什么同一混合强度带中不同变质原岩的岩石混合岩化程度不同？

### (三) 实习内容

- (1) 观察描述几种典型混合岩手标本。
- (2) 观察描述几种混合岩交代结构。

### (四) 实习要点

#### 1. 混合岩的观察和描述要点

混合岩的观察和描述重点就是基体和脉体，观察手标本时，应把两者分开仔细观察。其观察内容包括：

脉体：颜色、矿物成分、粒度(含眼球大小)、脉体形态、大小、含量(%)。

基体：颜色、矿物成分、结构、构造、基体形态及大小、含量(%)等。

此外，还应注意脉体与基体接触带上界线是否清楚可辨，有无其他特殊矿物或矿物的加粗等。

应当指出,以上只是一般准则,对具体岩石要具体分析、运用。例如,以岩石质存在的基体仅见于脉体含量不多(混合岩类及部分混合片麻岩类)的混合岩中;当脉体含量高时(混合花岗岩及部分混合片麻岩),基体的实体已被改造为暗色矿物了,这些暗色矿物既可以单晶形式存在,也可以呈聚晶形式存在。

混合岩的描述,原则上与其他变质岩相同(附录Ⅲ),但侧重点有所不同。无一例外,应象把变斑晶与基质部分分开描述一样,也应把基体和脉体分开描述。当脉体较少,普遍以基体为主时,优先描述脉体;当基体残存很少时,则优先描述基体,以显示其受改造的深度。

## 2. 脉体与基体的区分

区分脉体与基体主要从颜色、组构、成分等三方面入手,具体可以参阅《教程》有关章节。这里要指出的是,脉体和基体往往是互相渗透的。例如,在许多所谓的条带状混合岩中,较为深色的基体部分仍然有条纹状长英质新生脉体存在。往往,绝对准确地区分所有脉体和基体,在许多情况下是不可能的,故应当从宏观入手,把握主要的。又例如,在显微镜下区分脉体和基体有时比较困难,但可用以下方法区分原变质岩残留的先成长石和新生的长石:新生的斜长石多为钠长石、更长石,新生的钾长石多为条纹微斜长石或微斜长石,这些长石切面洁净、新鲜,颗粒较粗,有时呈不规则形状,与先成矿物显示种种交代关系;而原有先成斜长石,多半切面上次生变化强,因而浑浊,颗粒较细小,长石也较为基性。

## 3. 混合岩结构和混合构造的观察

混合岩结构整体上仍为变晶结构,但在局部,尤其在矿物之间,常发育多种交代结构。典型的交代结构类型和混合构造类型及其图解参见《教程》有关章节。

### (1) 交代结构观察的注意事项:

- ① 确定交代结构的类型及其主要特征;
- ② 确定交代与被交代矿物;
- ③ 确定交代结构成因,了解某些交代结构。

(2) 交代残留、交代穿孔与包含变晶的区别:交代残留中被交代矿物呈零星“岛屿”被包裹于新生矿物之中,这些“岛屿”外形极不规则,它与新生矿物之间有交代蚕蚀关系,这些残留体彼此间在双晶、消光位等方面显示出它们原是连续的单一晶体。

交代穿孔的矿物是晚期新生矿物,形状浑圆,成分较单一,多为石英,有时为长石,穿孔交代的矿物光性方位常常是一致的,多穿孔于早期生成的长石或其他矿物中。

包含变晶结构中的客晶(或称包裹体)多为基质中的矿物成分,包裹体边界圆滑,但包体之间光性方位并不相同,包裹体与包裹它们的主晶基本上同时生长,但生长的结束时间早于主晶。

(3) 交代条纹长石与条纹长石的区别:条纹长石一般都认为是固熔体分离的产物。但有一部分条纹长石是交代成因的,有两种情形:①原来斜长石被钾长石交代,因交代作用比较彻底,仅少量斜长石残留下来,形似条纹。②原钾长石被钠长石交代,晚期钠长石沿早期钾长石裂隙或解理进行交代,貌似条纹。

交代条纹长石有多种形态，如细脉状、树枝状、焰状、线状、网状、串珠状、补片状、格子状等；常受一定结晶面网控制；条纹的形态很不规则，边缘多呈锯齿状；条纹在主晶中分布很不均匀；条纹与主晶量比不定。

固溶体分离形成的条纹长石条纹形态较规则，多呈纺锤状；条纹在主晶中分布均匀，二者在数量上也有一定比例。

（4）交代蠕英结构的成因：

① 斜长石被钾长石交代时，在二者接触界线靠近斜长石一侧出现蠕英石，这部分蠕状石英所需要的硅质可能来源于交代溶液；

② 斜长石交代钾长石时析出的  $\text{SiO}_2$  可在斜长石的边缘上形成蠕英结构；

③ 不同成分的斜长石之间发生交代也可出现蠕英石；

④ 石英交代长石时某些交代穿孔类似于蠕英结构；

⑤ 有时石英交代黑云母等矿物，这些矿物中也出现蠕英结构。

混合岩中的交代结构在基体中较发育，在脉体中发育程度常常较差。

还应指出，许多花岗质岩石镜下都有交代现象，它们有的是岩浆期后交代作用的结果，所以不是一切具有交代结构的花岗质岩石都是混合岩。要结合其他因素（尤其是野外地质产状）综合判断。另外，交代结构的出现并不等于说混合岩是交代成因的，如某些重熔成因的混合花岗岩也可出现各种交代结构。

## 实习单元六 动力变质岩

### (一) 基本要求

- (1) 掌握动力变质岩的基本特征，学会区别碎斑、碎基和重结晶颗粒。
- (2) 熟悉矿物在不同性质变形下的应变现象。
- (3) 掌握动力变质岩的分类命名原则。
- (4) 了解动力变质岩成因分析的一般方法。

### (二) 课前作业题

(1) 碎斑是指岩石碎裂、破碎后粒度相对\_\_\_\_\_的颗粒，碎基是指\_\_\_\_\_的颗粒，重结晶颗粒是指\_\_\_\_\_的颗粒，基质则是\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_的全体的总称。

(2) 糜棱岩系岩石与碎裂岩系岩石的区别是什么？能否说凡是具有定向构造的动力变质岩就是糜棱岩石？为什么？

(3) 为什么同一薄片内有的矿物已强烈塑性变形，而有的仍表现为脆性变形？厘定塑性变形矿物种类有何成因意义？

(4) 如何确定变形强度带？为什么同一变形带内不同成分的岩石有不同的变形特征？

### (三) 实习内容

- (1) 观察描述碎裂岩系代表性岩石。
- (2) 观察描述糜棱岩系代表性岩石。

### (四) 实习要点

#### 1. 动力变质岩的观察与描述要点

碎斑、碎基或重结晶颗粒是动力变质岩的组成三要素。其观察包括：

碎斑：成分、大小、形态、内部变形特点、含量(%)。

碎基：成分、大小、形态、内部变形情况、含量(%)。

重结晶颗粒：成分、大小、形态、分布状况、含量(%)，分清是静态重结晶还是动态重结晶。

描述时，应优先描述碎斑而后基质；基质中有重结晶颗粒时，则先描述重结晶颗粒而后碎基。

#### 2. 动力变质岩结构、构造的观察

动力变质岩结构是指组成岩石的碎斑、碎基、动态重结晶颗粒以及静态重结晶颗粒的含量(%)和粒度等特征。其构造是指碎斑和基质两大部分颗粒集合体的空间排列和配置情况。具体的结构、构造类型可参见《教程》有关章节，这里仅给出一些最基本的结构和构造图解，以供实习时对照观察(图5)。如图5之7所示，从不同的角度去看糜棱岩，可以得出不同的结构、构造名称，描述时一般以 $XZ$ 面(平行拉伸线理，垂直于糜棱面理)为参

考面。

另外，还要特别注意显微结构及显微构造的观察。显微结构指颗粒（多见于碎斑）内部的变形现象，如破裂、扭折、双晶弯曲、变形纹、剪切出溶条纹、多米诺骨牌等。显微构造指不同颗粒集合体的局部配置特征，如压力影、拖尾、镶嵌构造（亚颗粒）、核幔构造等。

### 3. 动力变质岩的分类命名

除按《教程》有关章节分类命名以外，这里介绍一个简明分类图供参考（图6）。该分类基本上以组构特征将已胶结的动力变质岩分为碎裂岩系和糜棱岩系两大系列，然后参照岩石中基质含量（%）进一步分出类型。进一步命名可以参照括弧内进行，其中“XX”可以是主要的颗粒成分，也可以是构造类型名称。使用此图时应注意以下几点：

① 基质和碎斑是颗粒相对大小的概念。图中左侧粒度是指主要颗粒的平均大小。

② 基质包括重结晶颗粒与碎基（遭受粉碎后相对细小的颗粒）。重结晶部分又分动态重结晶颗粒和静态重结晶颗粒。静态重结晶的标志是出现新生的无应变晶粒。如粒状矿物（石英、长石、方解石等）呈多边形断面，其二面角接近 $120^\circ$ ；如是层状硅酸盐矿物（云母、绿泥石等）多为等粒矩形叶片状。动态重结晶颗粒形态大多为压扁拉长状，原始边界呈弯曲状、锯齿状或缝合线状，有的可以呈板状或矩形状。

③ 糜棱岩类岩石含较多的碎斑，基质部分以动态重结晶颗粒为主。超糜棱岩呈隐品质，碎斑基本无存，岩石几乎全由极细粒的基质构成。若超糜棱岩或糜棱岩含有较多的层状硅酸盐矿物（云母或绿泥石等），肉眼观察可见丝绢光泽，称为千糜岩。在高级变质环境中，糜棱岩中受应变的颗粒发生退火而静态重结晶，出现晶粒或变斑晶矿物的生长，这种岩石称为变晶糜棱岩（blastomylonite）（Marshak 和 Mitra, 1988）。半塑性糜棱岩（quasiplastic mylonite）是指同时具有韧性和脆性变形特征的岩石（如花岗质糜棱岩中，石英为韧性变形，长石为脆性变形——破裂或破碎），其描述和定名可按糜棱岩进行。

超塑性糜棱岩（superplastic mylonite）泛指产在韧性剪切带内受到高应变作用但不失粘滞性的岩石。在图6中包括了半塑性糜棱岩系和糜棱岩系极细粒的那些岩石成员。

当岩石已完全重结晶，宏观上具有类似于区域变质岩的片状或片麻状构造时，称为构造片岩或构造片麻岩。加“构造”二字是为了强调其构造成因，其命名可以参照区域变质岩的进行，如“XX”构造片岩。

### 4. 动力变质岩的成因初步分析

动力变质岩的成因分析内容极其丰富，方法繁多而细腻。实习课可简单考虑以下三方面：

（1）原岩性质：确定原岩性质，一般在野外露头上进行较为可靠，室内多依靠碎斑及主要颗粒的成分特点来判断，一般要求识别出超镁铁质岩、镁铁质岩、酸性（长英质）岩石、泥质变质岩和钙质岩石就可以了。

（2）变形性质：指韧性变形、韧—脆性变形或脆性变形。由于不同矿物的脆性—塑性变形的临界温压条件不一，所以只有仔细观察统计才能确定。

（3）变形物化环境：指变形时的温度和围限压力条件，图6可以为此分析提供一个粗

略的标志。

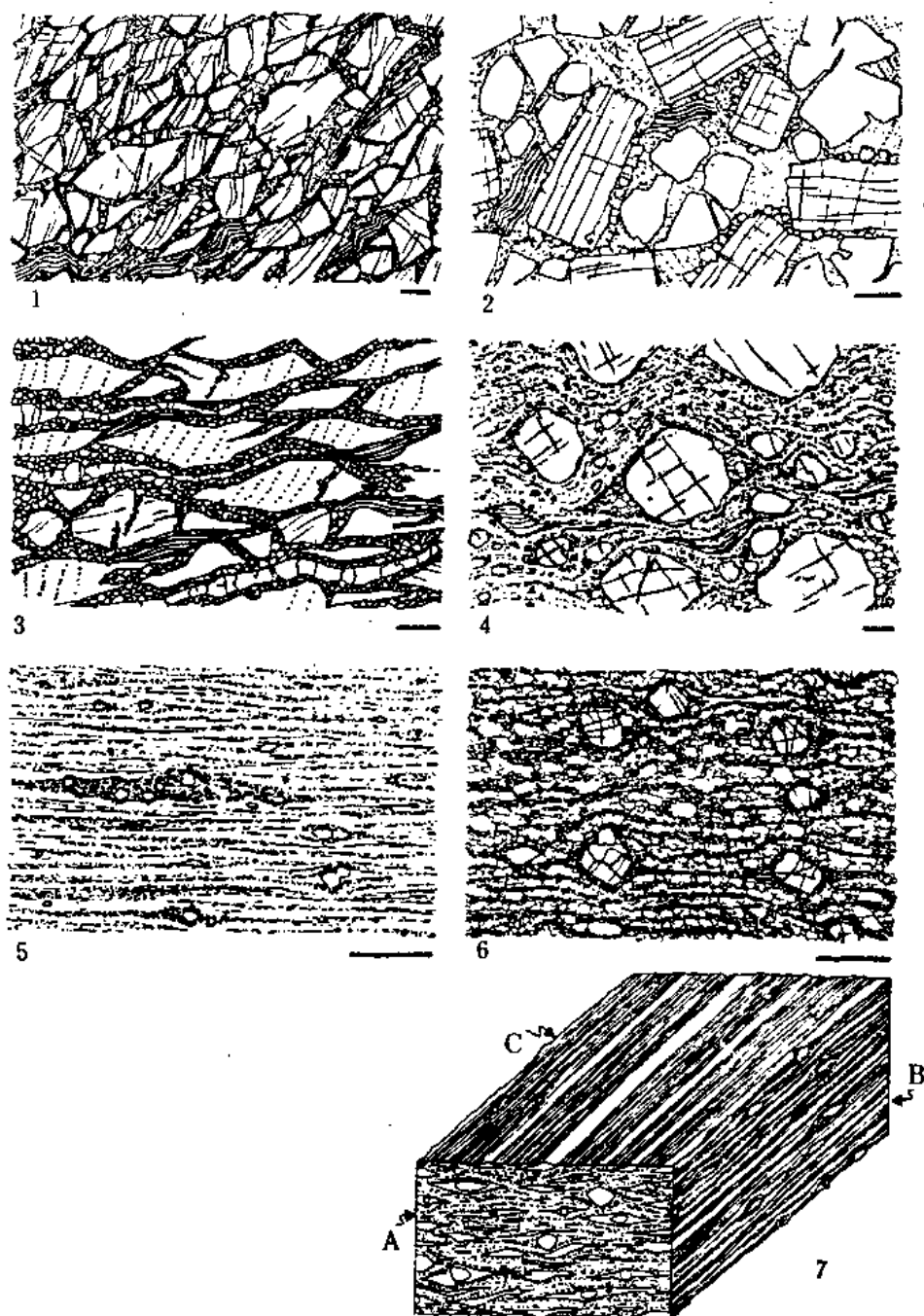


图5 一些基本的动力变质岩结构及构造图解

(据 J. P. Bard, 1987)

1. 碎裂结构; 2. 初碎裂结构; 3. 初糜棱结构(条带状石英); 4. 糜棱结构(纹带状石英); 5. 超糜棱结构(几乎无碎斑); 6. 变余糜棱结构(基质及碎斑已重结晶); 7. 结构、构造类型与切面关系: A面: 眼球状构造, 糜棱结构; B面: 流动状构造, 超糜棱结构; C面: 条纹(纹带)状构造, 超糜棱结构

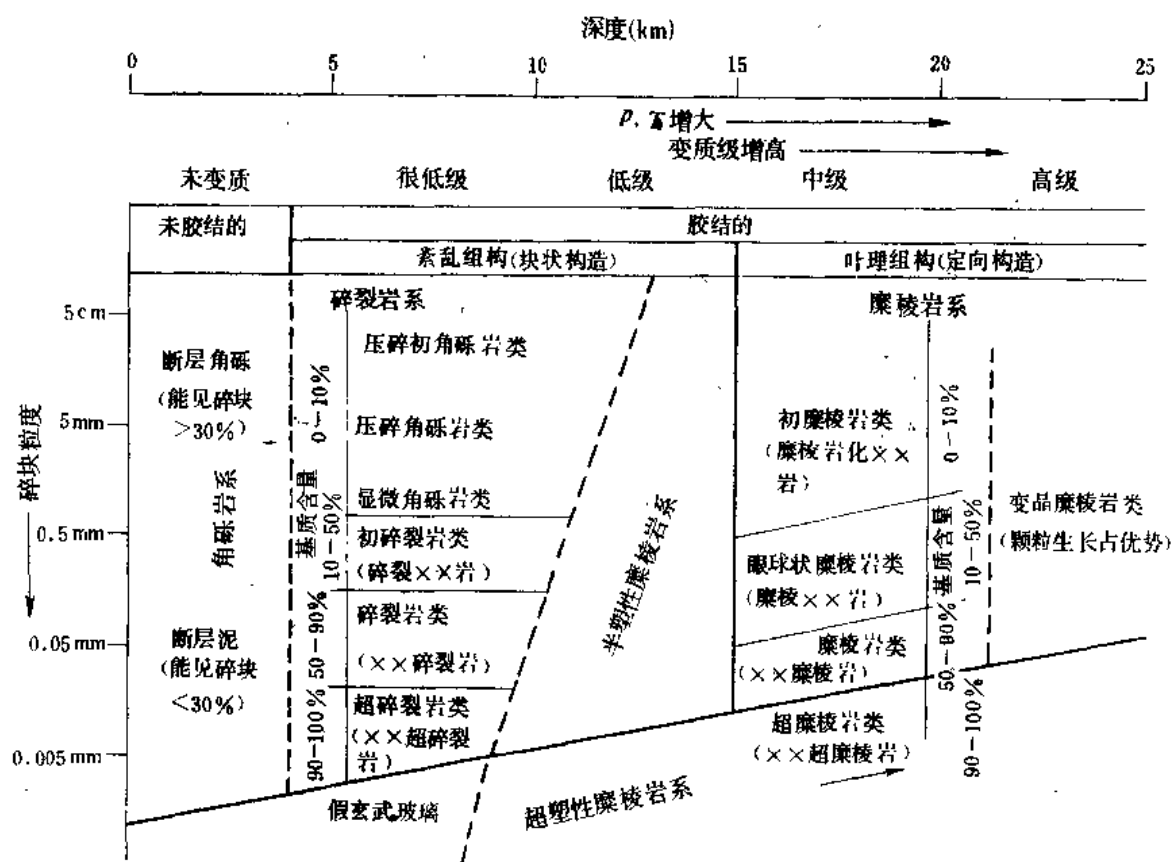


图6 动力变质岩类型及其变形物化环境关系  
(据 S. Marshak 和 G. Mitra, 1988, 略作修改)

## 实习单元七 气液变质及接触交代变质岩

### (一) 基本要求

(1) 认识交代变质岩(下文简称交代岩)的基本特征及其与非交代成因的类似岩石的区别。

(2) 掌握交代岩中常见的几种变质矿物的鉴定特征(钙铝—钙铁榴石, 符山石、方柱石、绿帘石等)。

(3) 学习观察交代假象结构。

(4) 掌握交代岩的观察与描述方法。

### (二) 课前作业题

(1) 请填入与下列原岩成分有关的气液交代岩: 超基性岩( ), 中基性岩( ), 中酸性深成岩( ), 中酸性浅成岩( ), 中酸性火山岩( ), 碳酸盐岩( )。

(2) 交代岩类的进一步划分是视交代矿物的含量(%)为依据的, 含量不同, 原岩特征保留程度也不同, 相应岩石也有不同的命名原则。请完成下表:

交代岩类的划分和命名原则表

交代矿物含量	原岩特征保留程度	分类命名	举 例
<5%			
5%—50%			
50%—95%			
>95%			

(3) 矽卡岩中的石榴石成分特点是 \_\_\_\_\_, 常具有光性 \_\_\_\_\_, 单斜辉石成分则为 \_\_\_\_\_。

(4) 云英岩就是由云母和石英组成的岩石, 对吗? 为什么?

(5) 云英岩常发育交代假象结构, 其组成可以是单一矿物, 但更多的是多种矿物的集合体: 试写出黑云母、斜长石、钾长石被假象交代以后可能出现的矿物或矿物组合。

(6) 在次生石英岩中出现较多的红柱石、刚玉或叶蜡石等富铝矿物时, 能不能说其原岩是富铝粘土岩? 为什么?

### (三) 实习内容

(1) 观察描述几种典型气液交代变质岩手标本。

(2) 观察描述云英岩。

(3) 观察描述矽卡岩。

附录 I 常见造岩矿物主要光性一览表

光性 矿物	颜色	突起	解理	消光类型	干涉色	双晶类型	延性	次生变化
橄榄石 (Ol)	无, 淡黄绿色调	高正	无, 或发育数条断续 弯曲裂紋	平行消光	二级末, 三级 初		可正 可负	蛇纹石, 磁 铁矿
顽火辉石 (En)	无	高正	两组完善, 夹角 $87^{\circ}$ ±	平行消光, 斜消光 者角度 $<10^{\circ}$ ±	最高一级紫	简单或聚片	正	绢石
紫苏辉石 (Hy)	无, 高 Al 者具弱多 色性, $N_g =$ 浅绿, $N_p =$ 粉红	高正	同上	同上	同上	同上	正	蛇纹石、纤 状角闪石、 黑云母
普通辉石 (Aug)	淡绿或褐色调	高正	同上	斜消光 $c \wedge N_g = 39^{\circ} - 47^{\circ}$	二级蓝绿	同上	多为 正	绿泥石、纤 闪石、黑云 母
透辉石 (Di)	无色	高正	同上	斜消光 $c \wedge N_g = 44^{\circ} - 37^{\circ}$	二级蓝绿, 鲜 艳	同上	正	蛇纹石、角 闪石
普通角闪石 (Hb)	强多色性, $N_m =$ 绿, $N_g =$ 深绿, $N_p =$ 黄绿	中正 高正	两组完善, 断续夹 角 $56^{\circ}$ ±	斜消光 $c \wedge N_g < 35^{\circ}$	二级初	同上	正	黑云母、阳 起石
黑云母 (Bt)	强多色性, $N_g =$ 棕褐, $N_p =$ 淡黄	中正	一组级完善, 连续	近于平行消光	四级以上		正	绿泥石
白云母 (Ms)	无色	中正 弱闪 突起	一组级完善, 连续	近于平行消光	二级, 鲜艳		正	
钾长石 (Kf)	无色	低负	两组完善, 但不发育	斜消光	一级灰	卡氏双晶、格 子双晶	可正 可负	高岭土
斜长石 (Pl)	无色	低正	同上	斜消光	一级白—一级 黄	钠长石聚片双 晶, 卡钠复合 双晶, 肖钠复 合双晶	负	钠黝帘石、 绢云母
石英 (Q)	无色	低正	无, 常有裂紋	平行消光	一级白—一级 黄		* 正	
方解石 (Cc)	无色, 但常带晕彩	强闪 突起	三组级完善 (切面上— 般见两组)	对称消光	高级白	聚片双晶	* 负	

\* 石英和碳酸盐矿物的切面多为他形等轴状, 延性不易确定, 在变质岩中, 长石的延性测量也有类似困难。

#### (四) 实习要点

气液交代变质岩的观察与命名应注意以下几点：

(1) 结构、构造的观察与描述：除与区域变质岩相同的构造以外，常存在反映矿物集合体空间排列上的不均性的构造，如斑杂状构造。结构在总体上仍为变晶结构，局部发育的交代结构可在涉及该矿物时处理。

(2) 对于云英岩，更为准确的定名建议使用定量矿物分类图（图7）。命名时应具体指出云母的种属，如白云母、锂云母或锂铁云母，另外，黄玉端元包括黄玉，萤石及电气石等高挥发分矿物，亦应具体指明矿物名称，据存在矿物的量比，按少前多后原则排列。

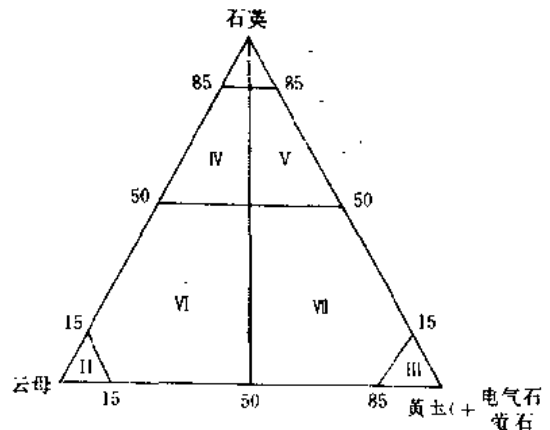


图7 云英岩定量矿物分类图解

（据 P. 涅克, 1970, 略加修改, 转引自王仁民等, 1989）

I: 石英云英岩; II: 云母云英岩; III: 黄玉云英岩; IV: 云母石英云英岩; V: 黄玉石英云英岩; VI: 黄玉云母石英岩; VII: 云母黄玉云英岩

## 附录II 常见变质矿物最主要的鉴定特征

### 1. 尖晶石 (Sp) $\text{MgAl}_2\text{O}_4$

薄片下无色, 淡绿或淡褐, 极高正突起 ( $N=1.71-1.83$ ), 糙面显著, 无解理, 均质体, 在钙镁质变质岩中与透辉石、金云母等共生。

### 2. 石榴石 (Gt) $\text{R}_2^{2+}\text{R}_2^{3+}(\text{SiO}_4)_3$ , $\text{R}^{2+}=\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mn}^{2+}$ $\text{R}^{3+}=\text{Al}, \text{Fe}^{3+}$

薄片下无色, 粉红色或黄褐色, 等轴粒状或不规则粒状, 极高正突起 ( $N=1.71-1.89$ ), 糙面显著, 无解理, 均质体。含钙石榴石常见光性异常, 有弱干涉色及环带构造。铁铝—镁铝榴石多见于区域变质岩, 常呈包含变晶或筛状变晶, 含有大量包裹体。

### 3. 方柱石 (Srp) $(\text{Na}, \text{Ca})_2[\text{Al}(\text{Al}, \text{Si})\text{Si}_2\text{O}_6]_2(\text{Cl}, \text{CO}_3, \text{SO}_4)$

正方晶系, 柱状或粒状晶体, 薄片下无色或混浊状, 低中正突起, 两组柱面解理完全, 夹角近  $90^\circ$ , 平行消光, 负延性, 一轴晶负光性, 重折率随成分而异: 富钠方柱石为一级灰, 富钙方柱石可达三级干涉色, 有时可见斑点状干涉色。

### 4. 符山石 (Ves) $\text{Ca}_{10}(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_2(\text{Si}_2\text{O}_7)_2(\text{OH}, \text{F})_2$

正方晶系, 柱状、粒状或放射状集合体, 薄片下无色, 浅绿、淡棕色, 略有多色性, 高正突起, 干涉色极低, 常见褐色或蓝色异常干涉色, 有时同一切面干涉色也不均匀, 有时见环带结构, 一轴晶负光性, 有时具光性异常, 变为二轴晶负光性或正光性,  $2V=5^\circ-65^\circ$ 。

### 5. 刚玉 (Co) $\text{Al}_2\text{O}_3$

三方晶系, 柱状或粒状, 薄片下无色或浅蓝色, 无解理, 有裂开, 高正突起, 一级灰干涉色, 由于硬度大, 薄片厚可达二级蓝干涉色, 一轴晶负光性, 常见于  $\text{SiO}_2$  不足而富  $\text{Al}_2\text{O}_3$  的岩石中。

### 6. 堇青石 (Cld) $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{Al}_3(\text{AlSi}_4\text{O}_{14})$

斜方晶系, 薄片无色, 多呈不规则粒状、梅花状或纺锤状, 低负—低正突起, 干涉色为一级灰, 常具双晶, 有三连晶、六连晶和聚片双晶等 (薄片鉴定中, 常因与石英、无双晶长石等相混淆而被遗漏), 二轴晶负光性, 有时为正光性, 光轴角大 (可与石英区别); 垂直双晶接合面的横切面, 相邻单体间对称消光, 消光角  $30^\circ$ , 据此可与钾长石、斜长石相区别; 另外堇青石折射率、双折率均高于钾长石。

### 7. 蛇纹石 (Serp) $\text{Mg}_3(\text{Si}_2\text{O}_5)_2(\text{OH})_4$

单斜晶系, 薄片下无色, 或呈浅黄绿色, 为叶片状或纤维状集合体, 低正突起, 一级灰干涉色, 近平行消光, 多为二轴晶负光性, 叶蛇纹石和纤维蛇纹石均为正延性, 利蛇纹石为负延性。

### 8. 滑石 (Ta) $\text{Mg}_3(\text{Si}_2\text{O}_5)_2(\text{OH})_2$

单斜晶系, 薄片无色, 具淡黄到浅绿的多色性, 片状, 低正突起, 有闪突起现象, 干涉色可高达三级 (比白云母高, 但仅利用干涉色很难区别它们), 滑石光轴角较小 ( $<30^\circ$ ),

且常与富镁铁质的矿物共生（这是不同于白云母之处）。

9. 绿泥石 (Chl)  $(\text{Mg, Fe})_3\text{Al}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$

单斜晶系，为片状或鳞片状集合体，薄片下呈浅绿色，有弱多色性，低正突起，干涉色一级灰——级黄，叶绿泥石有墨水蓝或锈褐色异常干涉色，近平行消光，二轴晶，光性正负都有，延性与光性符号相反。

10. 硬绿泥石 (Chd)  $(\text{Mg, Fe})_2(\text{Al, Fe})\text{Al}_2\text{O}_3(\text{SiO}_3)_2(\text{OH})_2$

单斜晶系，薄片下呈片状或蒿束状集合体，灰色至暗绿色，有多色性，晶体中有时有石英及炭质包裹物构成砂钟构造，高正突起，斜消光，负延性，一级干涉色，二轴正晶。

11. 黑硬绿泥石 (Stil)  $\text{K}(\text{AlFe}^{3+}, \text{Fe}^{2+}\text{Mg})_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

单斜晶系，为片状集合体，薄片下暗褐至亮黄，具强多色性， $(-)$ 2V小，这些都与黑云母极其相似。其区别是黑硬绿泥石底面解理较差，有一组与 $\{001\}$ 垂直的断断续续的 $\{010\}$ 解理， $(-)$ 2V=0°—40°，变化范围大于黑云母。

12. 绿帘石 (Ep)  $\text{Ca}_2(\text{Fe}^{3+}\text{Al})_2(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{SiO}_3)_2\text{O}(\text{OH})$

单斜晶系，薄片下黄绿色，弱—中等多色性，极高正突起，二级到三级鲜艳干涉色，在颗粒中干涉色不均匀，二轴晶， $(-)$ 2V大。

13. 黝帘石 (Zo) 和斜黝帘石 (Czo)  $\text{Ca}_2\text{AlAl}_2(\text{SiO}_3)_2(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})$

黝帘石属斜方晶系，斜黝帘石属单斜晶系，薄片下均无色，高正突起，一级干涉色： $\alpha$ 黝帘石一级灰， $\beta$ 黝帘石一级灰白至黄，斜黝帘石不超过一级黄，这几种帘石均有异常干涉色。

14. 硅灰石 (Wo)  $\text{Ca}(\text{SiO}_3)$

三斜晶系，薄片下无色，板状晶体，有时呈放射状集合体，可见 $\{100\}$ 、 $\{001\}$ 两组解理，沿 $b$ 轴延长的柱面近平行消光，延性不定，一级橙黄干涉色， $(-)$ 2V小（可与透闪石区别）。

15. 红柱石 (And)  $\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_2$

斜方晶系，薄片下无色，有时略带粉红色多色性，底面可见 $\{110\}$ 两组解理近直交，柱面可见一组解理，平行消光，负延性，中正突起，最高干涉色一级黄；有时含炭质包裹体，在底面呈十字形分布，称空晶石； $(-)$ 2V大，晶粒边缘往往绢云母化。

16. 蓝晶石 (Ky)  $\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_2$

三斜晶系，薄片下无色，有时略呈淡蓝色，高正突起，为沿 $c$ 轴延长的柱状晶体，柱面有 $\{001\}$ 横裂开， $c \wedge Ng \approx 30^\circ$ ；底面上， $Np$ 几乎 $\perp \{100\}$ 解理，因此呈近平行消光（不象红柱石、透闪石那样呈对称消光），干涉色为一级顶部， $(-)$ 2V大，正延性。

17. 夕线石 (Sil)  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$

斜方晶系，薄片下无色，常呈纤维状、束状集合体； $\{001\}$ 裂开发育，使晶体呈“竹节”状， $\perp c$ 轴切面近方形，具特征的对角线方向解理；中正突起，二级干涉色，平行消光，正延性， $(+)$ 2V<30°。

18. 透闪石 (Tr)  $\text{Ca}_2\text{Mg}_5(\text{Si}_8\text{O}_{22})_2(\text{OH})_2$

单斜晶系，柱状或放射状集合体，薄片下无色，具闪石式解理，中正突起， $c \wedge Ng = 16^\circ - 21^\circ$ 。

19. 阳起石 (Act)  $Ca_2(Mg, Fe)_3(Si_4O_{11})_2(OH)_2$

单斜晶系，纤维状或放射状集合体，薄片下浅绿色，有多色性，具闪石式解理， $c \wedge Ng = 11^\circ - 15^\circ$ 。

20. 蓝闪石 (Gl)  $Na_2(Mg, Fe)_3Al_2(Si_4O_{11})_2(OH)_2$

单斜晶系，多色性特殊： $Ng$ =深蓝色， $Nm$ =红紫， $Np$ =无色或浅黄绿，正吸收，具闪石式解理，消光角小 ( $c \wedge Ng = 5^\circ - 7^\circ$ )， $(-)$   $2V$  较小约  $12^\circ - 65^\circ$ 。

21. 绿辉石 (Omp)  $nNaAl(Si_2O_6) \cdot mCaMg(Si_2O_6)$

单斜晶系，薄片下无色至淡绿色， $c \wedge Ng = 39^\circ - 43^\circ$ ， $(+)$   $2V = 65^\circ - 80^\circ$ ，为榴辉岩特征矿物。

22. 十字石 (St)  $(Mg, Fe)_2(Al, Fe^{3+})_2O_4(SiO_4)_2(O, OH)_2$

斜方晶系，柱状或粒状晶体，常含大量包裹物，筛状变晶，薄片下呈亮黄色，有明显的多色性，高正突起，一级顶部干涉色，有 {010} 解理时为平行消光，有时可见十字形穿插双晶， $(+)$   $2V$  很大。

23. 绿帘石 (Pump)  $Ca_2(Al, Mg, Fe)_3(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH) \cdot H_2O$

单斜晶系，是绿帘石的变种，成分上 Al 显著超过 Mg,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ，趋近于斜黧帘石，含水量高，常呈沿  $b$  轴延长的纤维状、针状、放射状集合体， $Nm$  具特征的亮绿色或蓝绿色，吸收性： $Nm > Ng > Np$ ，延性可正可负， $(+)$   $2V \approx 26^\circ - 85^\circ$ 。

24. 红帘石 (Pie)  $Ca_2(Mn, Fe, Al)_2Al(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$

单斜晶系，含  $MnO_2$  达 15%，晶形与绿帘石相似，薄片下  $Ng$ =鲜红， $Nm$ =玫瑰红， $Np$ =橙黄，平行  $b$  轴切面平行消光，{010} 面上  $Ng \wedge (001) = 30^\circ \pm$ ，延性可正可负， $(+)$   $2V = 64^\circ - 85^\circ$ 。

25. 天蓝石 (La)  $(Mg, Fe)Al_2(PO_4)_2(OH)_2$

单斜晶系，薄片下无色至天蓝色，吸收性  $Ng > Nm > Np$ ，常呈他形晶， $b \parallel Nm$ ， $a \wedge Ng = 12^\circ$ ， $c \wedge Np = 9^\circ - 10^\circ$ ， $(-)$   $2V = 61^\circ - 70^\circ$ ，常见于富铝岩石中。

## 附录III 变质岩的观察与描述

变质岩观察是借助于肉眼、放大镜和偏光显微镜等手段获取岩石的一般特征和成因信息的，而描述则是把所观察到的内容按一定格式用文字表达出来。一般情况下，总是先对岩石的矿物组成做详细的观察、鉴定，然后再依据矿物的颗粒大小、形态以及空间分布形式归纳出岩石的结构、构造特征，故采用的是归纳法；变质岩描述则是从宏观到微观，先粗后细，由表及里，突出重点，即采用演绎式的叙述方法。

### (一) 观察内容

#### (1) 手标本观察内容：

- ① 岩石颜色：指岩石的总体颜色，常采用复合色命名，如暗黑、肉红色、灰绿色……。
- ② 构造特点：看矿物排列有无定向性，分布是否均匀，有无条带或细脉。
- ③ 结构特点：指颗粒相对大小、平均粒度及形态等肉眼可见结构。
- ④ 矿物成分：矿物种类、肉眼鉴定特征及含量（体积 %）。
- ⑤ 其他特征及次生变化。

#### (2) 镜下观察内容：

① 矿物成分：镜下矿物成分观察是手标本肉眼观察的深入，其任务是检验和修正肉眼观察结果，进一步发现新的矿物或确定矿物种属。其观察内容包括：观察每种矿物的形态、大小、光性特征，测量有成因意义的光性参数，进一步估计矿物含量（%）；观察矿物间的交生关系及次生变化等。镜下粒度大小测量可参考表4。应注意的是：要多对几个视域进行矿物含量估计，取其平均值；当颗粒很粗或粗细差别悬殊时，应结合手标本把粗粒矿物含量（%）估计出来，镜下再进一步估计细粒矿物的含量，以防片面性。

表4 显微镜下测定矿物粒度换算表

显微镜	目 镜	物 镜	目镜微尺每1小格(mm)	视域直径(mm)
蔡 司	10×	2.5×	0.0476	5.3
	10×	10×	0.0118	1.34
江 南 牌	5×	4×	0.0342	4.9
	5×	10×	0.0139	1.96
	10×	4×	0.0352	3.5
	10×	10×	0.0142	1.42

② 结构关系：除检验和修正手标本结构名称外，需进一步发现矿物间的世代关系、包裹关系、成因关系和变余痕迹等。

显微变余构造：镜下仔细观察矿物及其组合的分布，往往可以发现宏观上没法发现的显微变余构造，如变余微层理、变余递变层理等。

### (二) 描述格式

(1) 手标本描述：手标本描述步骤与观察部分相同，但在描述矿物成分时，应遵循先特殊后一般的原则，以便重点突出，层次分明。具体如下：

① 区域变质岩或接触热变质岩：如为等粒变晶结构，先描述特征矿物，而后普通矿物；如为斑状变晶结构，先描述变斑晶，而后基质。

② 混合岩：先描述脉体而后基质。

③ 动力变质岩：先描述碎斑而后基质。气液变质岩可以参照①进行。

(2) 镜下描述：

① 一般先对薄片内岩石的总体结构和矿物组成作一概要说明，然后对矿物成分进行描述，原则上应优先描述变斑晶、碎斑、脉体或特征变质矿物。

② 矿物成分有关内容的描述顺序原则是：形态，自形程度，粒度大小，主要光性特点，与其他矿物的关系和变质变形关系或次生变化，最后是含量(%)的目估值。对每一矿物，都要另起一行描述。

(3) 成因分析：实习课上通过手标本观察和薄片镜下观察，并经综合分析，初步推断岩石的成因，称为变质岩成因分析的岩相学方法。变质岩的原岩类型和变质岩的形成条件以及变质岩的变质历史是成因分析的基本内容。不同类型的岩石变质作用特点不同，所形成的岩石组成有特征性差别，所以，其观察与分析方法也有所不同。具体可以参见各单元的有关部分。

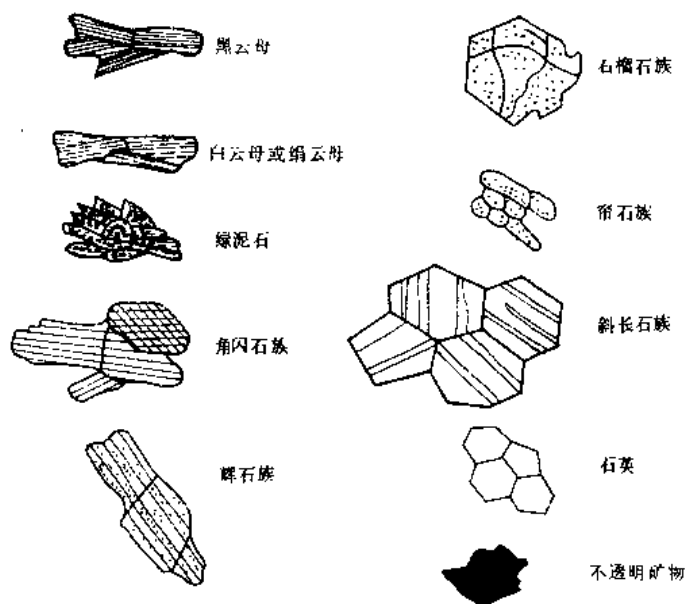


图 8 薄片素描中常见矿物的图示法

(4) 岩石定名：根据以上材料，依据各成因类型变质岩分类图表定出岩石的基本名称，然后按一定的命名原则予以准确定名。

(5) 素描图：选择能说明矿物相互关系的视域，用适当的放大倍数，作素描图。素描时，先勾绘出自形程度较好，能控制视域的矿物或其他组分，如变斑晶、碎斑、残斑等，

然后添加细部。注意用矿物的边缘粗细、浓淡和糙面反映突起等级。常见矿物的画法可以参考下图(图8),但宜以薄片内矿物的真实形态为佳。画完以后,在图面上注上矿物或组分代号(附录I, III),素描图下注明岩石名称,简要说明主要现象、偏光情况、放大倍数(写视域直径)和产地。

以上是一般变质岩描述的要领。对于不同类型变质岩还有一些特殊的要求,将在各类岩石中指出和强调。以下是一个描述实例:

## 变质岩描述实例

### 堇青石角岩

肉眼观察(标本405):

岩石为黑色,致密块状构造,半贝壳状断口,无定向性,斑状变晶结构,基质部分为致密隐晶质。变斑晶为堇青石,1—1.5mm,圆粒状,玻璃光泽,无解理,风化面上呈褐白色小点(可与石英相区别)约占20%—25%。基质成分肉眼难辨。

镜下观察(薄片C<sub>2</sub>):

斑状变晶结构,基质具变余泥质结构。变斑晶为堇青石。基质部分由颗粒极细的石英、粘土质、碳质、黑云母和绢云母微粒组成。

堇青石变斑晶无色透明,断面呈六边形或长短不等的纺锤形;正交镜下显示完好的六连晶或三连晶,偶见聚片双晶;堇青石中常有炭质包裹物及细粒的黑云母和石英包裹体;有些颗粒上有次生绢云母鳞片状集合体,约20%—25%。

基质部分的成分都很细小,一般<0.01mm。其中黑云母在高倍镜下具特征的多色性( $N_g$  = 棕绿,  $N_p$  = 淡黄),绢云母无色透明,正交镜下具一级黄干涉色,平行消光;石英他形,无色透明,一级灰白干涉色;炭质在单偏光下为土状黑色不透明物,正交镜下无光性,反射光下具土状光泽;粘土质在单偏光下无色透明,正交镜下隐约可见手风琴状消光。粘土矿物略具定向性,局部集中成微纹状,显示变余微细层理的痕迹。

根据基质部分重结晶程度差,堇青石风化产物富Fe,考虑到富Fe堇青石在低压条件下可见于低温,而堇青石为富Fe、Mg的铝硅酸盐矿物,在岩石中含量较高,故推断本岩石属于钠长绿帘角岩相,是富含炭质及含铁镁较高的不纯泥质岩经接触热变质而成。

定名 黑色炭质堇青石角岩

(素描图略)

## 附录IV 区域变质岩和接触热变质岩成因的岩相学方法初步分析

区域变质岩和接触热变质岩的形成过程一般被视为等化学过程。岩石的矿物组合主要受原岩化学成分和变质温压条件制约。所以,这里所说的成因分析仅指确定变质相条件和厘定原岩类型两方面。但并不是说其成因分析仅包含此两项内容。这里只介绍基本的工作程序和方法。

### (一) 厘定共生组合

同一块岩石薄片内可能存在较多种矿物,但并非所有的矿物都是共生关系,在观察鉴定过程中,随时随地运用矿物共生的岩相学标志一一对比,写出所有的矿物共生组合。同一薄片内出现不同的矿物共生组合,其原因可能有:①世代关系。这时在结构上有所显示,应细心观察和判断;②局部成分差异。研究表明,岩石中原始的化学成分分布一般是不均匀的。变质反应达到平衡,并不意味着在所有的尺度上矿物共生处处相同。平衡的距离是有限的,有限距离内达到平衡的区域称为平衡域(equilibrium domain)。

### (二) 变质相条件的确定

(1) 据特征矿物组合确定:在诸多的矿物共生组合中,如有一个组合与某一个变质相的特征矿物共生组合相符,即可予以确定。特征矿物组合的变质相属性可参见《教程》(表3-2, P50)。对于区域变质岩的一般组合,可参照《教程》(表9-2, 9-3, P161-162);接触热变质岩可参见《教程》第六章第三节有关内容。

(2) 据特征变质矿物判断:泥质变质岩中绿泥石、黑云母、石榴石、十字石、蓝晶石、夕线石等矿物的有无,可以帮助确定变质相条件。但要注意以下几点:

① 多个特征矿物共存在时,应尽量取反映变质级最高的矿物来判断。

② 注意其他共生矿物种类。如夕线石+白云母与夕线石+钾长石两个组合,前者指示低角闪岩相条件,而后者反映高角闪岩相条件。

③ 注意矿物生长关系与原岩成分的研究。单凭特征矿物与巴罗变质带指示矿物简单对比往往不可靠。例如在 $Al_2O_3$ 过剩而贫FeO的泥质岩中,蓝晶石可以在绿片岩相条件下由叶蜡石分解生成,若不综合其他方面的研究分析便贸然断定岩石达到了角闪岩相条件,是大错特错的。

(3) 用某些矿物的光性特点判断:有些贯通矿物的某些光性参数随变质相条件改变而变化,包括:角闪石 $N_g$ 方向的颜色,黑云母 $N_g$ 方向的颜色,斜长石的号码( $An$ 值)等等,这些可以参照《教程》有关章节或讲课笔记。另外,大量中条纹长石(主晶与客晶的量几乎相等的长石)和补丁状条纹长石的存在,常是达到麻粒岩相的标志。

### (三) 原岩类型的确定

首先要求确定出岩石的化学类型。具体做法是:把岩石薄片中的所有矿物共生组合一一标绘在ACF和 $A'KF$ 图解上,然后对照《教程》图4-1确定。应注意,不同的共生组合可能落在不同的化学类型区内,这时应抓住反映岩石主体组成的组合做出正确选择,切

勿以局部代替全部，从而得出错误的结论。

一般来说，泥质变质岩和钙质变质岩的原岩多为沉积岩，镁铁质变质岩的原岩多为岩浆岩。对于长英质和基性变质岩的原岩正副的判断，往往是很困难的，镜下可以从以下两方面思考。

(1) 有无特殊矿物：长英质变质岩中若含较多的云母或富  $Al_2O_3$  矿物（石榴石、十字石、堇青石、硬绿泥石、 $Al_2SiO_5$  多形等），其原岩可能为沉积岩，起码是沉积火山岩。基性变质岩中若含有一定量的方柱石或方解石，很可能为沉积岩变来的，但切不可把后期的碳酸盐岩脉误作为判断依据。

(2) 有无变余结构、构造：

① 对长英质变质岩，要注意长石的成分、颗粒形态及石英的形态和含量（参见变余结构、构造观察一节 P18）。

② 对于斜长角闪岩类，正变质的一般斜长石多于角闪石，副变质的角闪石多于斜长石，但这些仅可作为参考；其次，变余辉绿或辉长结构特点有时是正交偏光下斜长石多已重结晶为多晶体，但在单偏光下仍可隐约显示半自形长条状或板条状切面轮廓，应注意识别。

#### (四) 成因分析参考实例

兹以薄片 (C17) 为例，说明成因分析的一般方法。

(1) 变质相条件分析：该薄片中可以见到的矿物有黑云母 (Bt)、白云母 (Ms)、石英 (Q)、十字石 (St)、石榴石 (Alm)，其中变斑晶为石榴石、十字石和黑云母。

基质部分中，石英为细粒变晶，具稳定的三连点结构。白云母为细粒鳞片变晶，其排列显示了二次片理的存在；早期片理由白云母在平行的主片理  $S_2$  之间呈入字型排列（图 9 之 1）。

黑云母变斑晶分布不规则，多斜交主片理  $S_2$ ，其内有石英包裹物，其排列多不规律，偶见与主片理  $S_2$  连通（残缕结构）（图 9 之 2），在边缘处多退变为绿泥石，在变为绿泥石 (Chl) 的地方，有时可见负延性的红柱石 (And)（图 9 之 3）。

石榴石变斑晶的核部有显微粒状石英包裹体，在个别颗粒中石英包裹体呈雪球状排列，边部干净，无包裹体（图 9 之 3）。

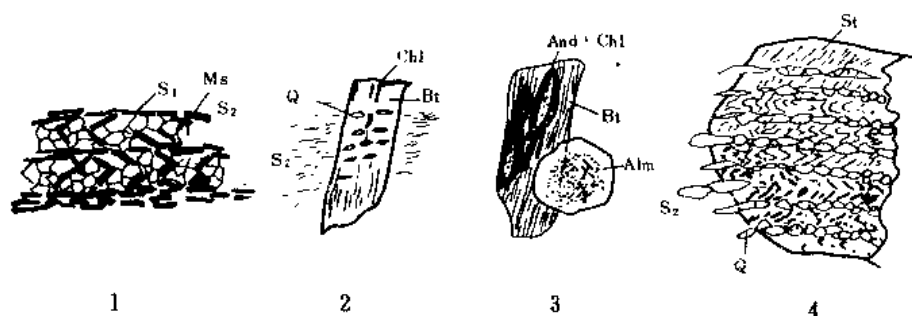


图 9 薄片中的—些显微结构素描

十字石为残缕状变斑晶，其包裹物有黑云母、石榴石和石英。较粗的石英呈定向排列，

与主片理  $S_2$  连通，较细的石英排列呈褶皱状，显示了早期白云母的柔皱状片理  $S_1$  (图 9 之 4)。

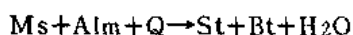
经共生分析，其共生的矿物组合有：

- ①  $Ms+Q$
- ②  $Ms+Bt+Q$
- ③  $Alm+Ms+Q$
- ④  $Alm+Ms+Bt+Q$
- ⑤  $Alm+St+Bt+Q$

退变质中主要见黑云母分解为绿泥石，或绿泥石 + 红柱石。

矿物共生的图解如图 10。综合分析说明，该岩石变质可能已达角闪岩相的十字石带条件，主要证据有：

- ① 组合  $Ms+Q$  表示未达高角闪岩相；
- ② 岩石中出现了特征矿物十字石；
- ③ 十字石内缺少白云母包裹物，但石英包裹物的排列显示了变余的白云母褶皱片理 ( $S_1$ )。由共生图，石榴石—白云母共生线与十字石—黑云母共生线交叉 (图 10)，可推测通过反应



消耗了白云母，生长了十字石。这一生长与巴罗带中十字石带位于石榴石带之后是相吻合的。

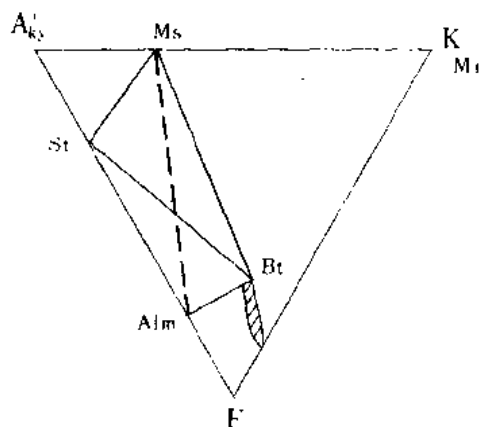


图 10  $A'KF$  共生图解 (C17)

由黑云母分解为绿泥石和红柱石，可能说明后期退到了绿片岩相条件。

(2) 原岩分析：全部共生组合投图均位于  $A'KF$  图解的黑云母—白云母共生线的  $A'-Ms-Bt-Alm$  区域内 (图 10)，且岩石中缺少斜长石，为  $Al_2O_3$  过剩的泥质岩；又依含较多的十字石、石榴石和云母推测，该岩石为富  $FeO$  的不纯泥质岩变质而成。

## 参 考 文 献

- 游振东,王方正主编,1988,变质岩岩石学教程。中国地质大学出版社。
- 贺同兴等编,1988,变质岩岩石学。地质出版社。
- 王仁民、游振东、宣公勤编,1989,变质岩石学教学参考书。地质出版社。
- 陈能松,1991,豫西秦岭群  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$  多形变体兴衰的  $pTt$  轨迹及其地球动力学解释。地学探索,第4期。
- Bard, J. P., 1987, Microtextures of Igneous and Metamorphic Rocks. D. Reidel Publishing Company Dordrecht, Holland.
- Harley, S. L., 1989, The Origins of granulites: a metamorphic perspective. Geol. Mag., Vol. 126, P215—247.
- Marshark, S. and Mitra, G., 1988, Basic Methods of Structural Geology. Prentice—Hall Inc., New Jersey, P227.